

УДК 658.629.7023.002

Л.Н. КОРНИЛОВ, В.В. ВОРОНЬКО, Ю.А. ВОРОБЬЕВ, И.А. ВОРОНЬКО

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Статья посвящена экономической оценке использования гибких производственных комплексов для сборки сборочных единиц летательных аппаратов с помощью специализируемых переналаживаемых приспособлений с числовым программным управлением. Предлагается рассчитывать годовой экономический эффект как разность приведенных затрат для базового и нового вариантов. Приведены конкретные результаты экономических расчетов для самолетов среднего класса и среднего масштаба производства. Определены условия, при которых использование гибких производственных комплексов экономически целесообразно.*

**Ключевые слова:** сборочная оснастка, гибкие производственные комплексы, технологическая себестоимость, приведенные затраты, экономическая целесообразность.

### Введение

Сборочное производство является довольно консервативным этапом процесса изготовления летательных аппаратов (ЛА). Методы сборки авиационных конструкций, оснастка для изготовления сборочных единиц (СЕ), средства механизации и автоматизации сборочных процессов, проектирование элементов сборочной производственной системы остаются неизменными или меняются незначительно за последние годы. Поэтому сборочные работы (учитывая особенности конструкции ЛА) механизуются и автоматизируются значительно медленнее, чем другие виды производства.

Традиционно оснастка сборочного производства по степени универсальности подразделяется на специальную, специализированную и универсальную (групповую) [1]. Эта оснастка предназначена для сборки узлов (нервюры, лонжероны, шпангоуты, крышки люков и т.п.), панелей (обшивка с продольным и поперечным набором, элементами крепления оборудования и т.п.), секций, отсеков и агрегатов.

Специальной считается оснастка, которая предназначена исключительно для сборки данной СЕ. Универсальная (групповая) оснастка используется для сборки типовых узлов и панелей широкой номенклатуры. Диапазон возможного применения этой оснастки определяется сходством технологических процессов сборки и габаритами СЕ.

Специализированная оснастка по своей универсальности занимает промежуточное положение между универсальной и специальной.

Такая классификация оснастки имеет значение, прежде всего, для определения рациональных мето-

дов и средств механизации и автоматизации сборочных процессов применительно к различным масштабам (годовой программе и трудоемкости сборки) выпуска новых изделий, а также для оценки экономической целесообразности их использования.

Совершенствование традиционной сборочной оснастки не может привести к созданию принципиально нового оснащения, т.к. используются ручные и машинно-ручные процессы труда: установка и фиксирование деталей в сборочных приспособлениях (СП), разметка и сверление отверстий, клепка и др.

С развитием информационных технологий появляется возможность придать специальной сборочной оснастке принципиально новые свойства. Эти новые свойства заключаются в том, что современные средства технологического оснащения (СТО) позволяют изменять контуры и геометрию СП. Появляется возможность выполнять на данном СП множество операций, осуществлять сборку различных СЕ. Сборочный процесс можно реализовывать по аналогии с мехобработкой: использование оборудования типа «обрабатывающий центр» даст возможность выполнять последовательно множество операций по изготовлению деталей.

Примером успешной роботизации процесса сборки является применение роботов в часовой промышленности, и как результат – повышение производительности труда при сборке часов в шесть раз. Экономическая целесообразность использования робототехнических комплексов для сборки СЕ является малоизученной областью, несмотря на быстрое развитие микропроцессорной техники, успехи робототехники и информатики.

### Постановка задачи исследования

Цель настоящей статьи – опубликовать результаты оценки экономической целесообразности использования робототехнических комплексов для сборки СЕ типа панелей, лонжеронов, шпангоутов, нервюр.

Сложность такой задачи определяется принципиально новыми формами подготовки, организации, планирования производства, проектирования технологических процессов и СЕ, принципиально новыми формами управления, контроля, обработки информации.

Опыт эксплуатации гибких производственных комплексов (ГПК) дает возможность утверждать, что их использование сокращает время производственного цикла до 30 раз, коэффициент сменности оборудования повышается до 2,5-2,7 при экономии производственной площади на 30-40% [2]. Эти данные относятся к приборостроению, радио и электронной промышленности. Для сборочного самолетостроительного производства расчеты экономической целесообразности ГПК осуществляются по методике, изложенной в [3].

### Основные результаты

1. В качестве критерия оценки экономической эффективности новой оснастки принята величина приведенных затрат, т.к. она наиболее полно отражает изменение затрат на изготовление СЕ, а также учитывает изменение затрат в основные и оборотные средства предприятия.

2. Экономическая целесообразность использования новой оснастки в значительной степени определяется уровнем механизации и автоматизации сборочных операций. Доля отдельных операций сборки в технологическом сборочном процессе определяется соотношениями, представленными в табл. 1 [4].

Как видно из приведенной таблицы, для повышения уровня механизации и автоматизации сборочных операций необходимо механизировать операции по выполнению соединений (сверление, клепка, зенкование, установка болтов). По данным В.П. Григорьева [5] удельная трудоемкость отдельных операций клепки в общей трудоемкости работ по соединению заклепками составляет

$$T_{\text{сверление}} = 0,37 \cdot T_{\text{оп}} ;$$

$$T_{\text{зенкование}} = 0,15 \cdot T_{\text{оп}} ;$$

$$T_{\text{вставка заклепок}} = 0,18 \cdot T_{\text{оп}} ;$$

$$T_{\text{клепки}} = 0,3 \cdot T_{\text{оп}} ,$$

где  $T_{\text{оп}}$  – оперативное время, т.е. даже при уменьшении  $T_{\text{клепки}}$  в 5 раз общее время  $T_{\text{оп}}$  уменьшается только на 24%. Поэтому надо идти по пути автоматизации всего процесса соединения в целом.

Таблица 1  
Содержание процесса сборки

№ п/п	Виды работ	Трудоемкость, %
1.	Транспортировка, установка и съем собираемых составных частей (СЧ)	5,1
2.	Подготовка собираемых СЧ	5,7
3.	Фиксация и расфиксация собираемых СЧ	2,3
4.	Установка и съем контрольных болтов	8,2
5.	Разметка отверстий под болты и заклепки	2,2
6.	Сверление и рассверливание отверстий	16,4
7.	Зенкование отверстий	7,1
8.	Разделка отверстий	4,0
9.	Установка болтов	10,7
10.	Вставка заклепок и клепка	26,8
11.	Прочие работы	11,5
	Итого	100,0

3. Организация специализированных цехов узловой и панельной сборки и концентрация сходных в конструктивно-технологическом отношении СЕ в одном цехе дает возможность широко использовать групповые СП вместо специальных. Имеются многочисленные работы, подтверждающие эффективность их использования. На основании опыта работы нескольких заводов по созданию групповых СП разработаны руководящие технологические материалы (РТМ) [6].

В этих материалах особо отмечается, что загрузка таких приспособлений достигает 80-95% (вместо 10-20% для специальных), количество их сокращается в 4-6 раз, занимаемая площадь уменьшается в 2-3 раза.

Аналогичная тенденция сравнительной эффективности групповых СП приведена в табл. 2 [7].

В соответствии с этой таблицей количество приспособлений может быть сокращено в 3 раза, необходимые производственные площади – в 2,5 раза, технологическая себестоимость оснастки сокращается в 3 раза.

При производстве изделия "Ту-134" преимущества использования групповых сборочных приспособлений характеризуются следующей таблицей 3 [8].

Количество оснастки сокращается в 3,5 – 4 раза, производственные площади в 4 – 5 раз, технологическая себестоимость оснастки в 4 раза.

Таблица 2

Сравнительная характеристика эффективности использования групповых и специальных сборочных приспособлений

Сборочные единицы	Количество сборочных единиц	Специальная оснастка				Групповая оснастка			
		Количество, шт	Площадь, занимаемая оснасткой, м <sup>2</sup>	Технологическая себестоимость оснастки, \$	Коэффициент загрузки	Количество, шт	Площадь, занимаемая оснасткой, м <sup>2</sup>	Технологическая себестоимость оснастки, \$	Коэффициент загрузки
Шпангоуты	110	55	660	163,7	0,12	8	100	98,98	0,69
Нервюры	62	16	167	23,1	0,13	8	94	13,16	0,32
Балки	44	44	962	98,14	0,2	22	481	55,58	0,4
Шторки	20	20	294	85,96	0,1	5	76	24,08	0,34
Крышки	17	12	74	29,96	0,18	6	47	17,92	0,36
Панели	7	3	104	6,16	0,06	1	51	5,18	0,23
Хвостики	3	3	41	4,06	0,3	1	15	1,82	0,9
Носки	6	6	82	7,28	0,21	2	34	2,94	0,63
Обтекатели	6	6	89	7,0	0,21	2	38	3,78	0,62
Дефлекторы	2	2	25	3,22	0,2	1	13	1,82	0,4
Интерцепторы	2	2	25	3,22	0,53	1	13	1,82	1,0
Итого	279	169	2523	431,80	0,16	57	962	224,98	0,45

Таблица 3

Преимущества использования групповых СП

Сборочные единицы	Количество сборочных единиц	Специальная оснастка			Групповая оснастка		
		Количество, шт	Площадь, занимаемая оснасткой, м <sup>2</sup>	Технологическая себестоимость оснастки, \$	Количество, шт	Площадь, занимаемая оснасткой, м <sup>2</sup>	Технологическая себестоимость оснастки, \$
Силовые шпангоуты	8	8	56,1	18804,8	2	21,4	4662
Рядовые шпангоуты	3	3	35	3413,2	2	6	1909,6
Нервюры	42	42	101	53585	5	10,6	13661,2
Панели	16	16	494	94168,2	10	118,7	22418,2
Итого	69	69	686,1	169971,2	19	146,7	42651

Следует отметить, что все приведенные сравнения касаются групповых СП, переналаживаемых «вручную», новая сборочная оснастка настраивается в автоматизированном режиме на основе полного электронного описания собираемого изделия (ПЭОИ).

Поэтому при расчете экономической эффективности новой оснастки следует учесть не только приведенные преимущества, но и значительные дополнительные затраты, связанные с разработкой программного обеспечения управления технологическими процессами сборки.

4. Годовой экономический эффект рассчитывался как разность приведенных затрат по сборке узлов, панелей для базового и нового вариантов.

В качестве базового варианта приняты условия сборки СЕ в агрегатно-сборочном цехе в специальных СП в соответствии с действующим технологическим процессом.

Новый вариант – сборка СЕ осуществляется в специализированном цехе узловой и панельной сборки с использованием специализируемых переналаживаемых приспособлений с ЧПУ [9] (ГАК – гибкий автоматизированный комплекс).

В состав предпроизводственных затрат по новому варианту должны быть включены:

- предпроизводственные затраты на НИР, ОКР, проектно-технологические разработки, создание автоматизированной системы информационного обеспечения, пакета стандартных программ работы отдельных специализируемых переналаживаемых приспособлений с ЧПУ, средств транспортировки, вспомогательных роботов, управляющих программ;

- затраты на приобретение (изготовление или модернизацию) технологического оборудования, его доставку, монтаж, отладку. В состав этих затрат входят стоимость средств управления, затраты на ЭВМ, программные средства;

- технологическая оснастка (инструменты, дополнительные приспособления) со сроком службы более года;

- затраты на технологическую подготовку производства.

В то же время эффект гибкости автоматизации обеспечивает экономию при переходе на изготовление других изделий. При переходе на новое изделие в базовом варианте потребовалось бы заменить всю или часть оснастки. В новом варианте (использование ГАК) отсутствуют или сведены к минимуму затраты на замену комплекта оснастки.

5. Заработная плата участников производства (основная и дополнительная) в базовом варианте определялась, исходя из трудоемкости сборки (сдельная форма оплаты труда). Заработная плата операторов, наладчиков, программистов, инженерно-технических рабочих (ИТР) и других категорий работников, работающих по обслуживанию ГАК в новом варианте (ИТР по управлению ходом технологического процесса и эксплуатации вычислительного комплекса или ЭВМ, рабочих по обслуживанию и эксплуатации технологической оснастки), определялась, исходя из среднегодовой заработной платы и численности персонала по специальностям и категориям (повременная форма оплаты труда).

6. Количество единиц сборочной оснастки для базового и нового вариантов определялись на основе классификатора узлов и панелей, разработанного для производства самолета среднего класса. На этом этапе решалась важная задача – определение типов СЕ, для которых сборка могла быть осуществлена в автоматизированных групповых СП.

Существующие системы отраслевой классификации имеют следующие общие признаки: конструктивная общность узлов, панелей, технологическая общность при изготовлении, применяемые при изготовлении оборудование и технологическая оснастка [1], [10]. Классификатор предусматривает выделение четырех классов СЕ, каждый из которых подразделяется на виды, группы и типы.

Каждый из выделенных типов СЕ представляет обобщенную панель, узел. Под обобщенной СЕ данного типа подразумевается общепринятое понятие, т.е. реальная или условная (искусственно созданная) СЕ, содержащая в своей конструкции все основные элементы, характерные для СЕ данного типа и являющиеся ее конструктивно-технологическим представителем. Количество типов СЕ определяет количество ГАК.

Эти основные положения (6 пунктов) приняты за основу для расчета экономического эффекта использования специализируемых переналаживаемых приспособлений с ЧПУ.

Для получения конкретных величин затрат и преимуществ базового и нового вариантов сборки в денежном выражении сделаны следующие допущения.

1. В качестве объекта изготовления принят самолет среднего класса.

2. За единицу продукции принят годовой объем производства самолетов, характеризующий средне-серийное производство.

3. Трудоемкость сборки СЕ в базовом и новом вариантах характеризует среднесерийное производство.

4. Стоимость приобретения и подготовки к работе одного ГАК приняты по существующей рыночной стоимости.

С учетом этих допущений получены следующие результаты, представленные в табл. 4.

При рассмотрении вариантов сборки возможны различные соотношения в изменениях единовременных и капитальных вложениях ( $K$ ) и текущих

затрат ( $C$ ). В нашем случае

$$(K_2) < (K_1) \text{ и } (C_2) < (C_1).$$

Поэтому источником образования готового экономического эффекта является экономия на себестоимости ( $\pm \Delta C$ ) и экономия на единовременных и капитальных вложениях ( $\pm \Delta K$ ).

Годовой экономический эффект равен

$$\mathcal{E}_{\text{годовой}} = [(C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2)],$$

или

$$\mathcal{E}_{\text{годовой}} = \Delta C + E_n \cdot \Delta K = 205318,65 + 0,2 \cdot 600189,92 = 325356,63\$.$$

Таким образом, для условий производства, оговоренных выше, использование гибких автоматизированных комплексов может дать экономический эффект  $\mathcal{E}_{\text{годовой}} = 325356,63\$$ .

Сравнение статей затрат технологической себестоимости сборки узлов, панелей, а также единовременных и капитальных затрат приведено на рисунках 1, 2.

Таблица 4

Расчет годового экономического эффекта сборки узлов, панелей с использованием гибких автоматизированных комплексов

№№ п/п	Изменение статьи затрат технологической себестоимости сборки	Затраты и экономия на себестоимости единовременных и капитальных вложений, \$ (доллары)			
		Базовый вариант ( $C_1$ ). Сборка в цехах агрегатной сборки в специальных сборочных приспособлениях	Новый вариант ( $C_2$ ). Сборка в специализированном цехе узловой и панельной сборки с использованием ГАК	Источники образования годового экономического эффекта	
				$\pm\Delta C$	$\pm\Delta K$
1.	Заработная плата производственных рабочих	234918,75	147262,5	+87656,25	
2.	Заработная плата цехового персонала	111440	76580	+34860	
3.	Амортизация технологической оснастки	188100	166980	+21120	
4.	Амортизация и содержание производственных площадей	98496	24300	+74196	
5.	Транспортные расходы	3248	14938	-11690	
6.	Ремонт оснастки	23712	21049,6	+2662,4	
7.	Затраты на хранение заделов незавершенного производства	5782	9268	-3486	
8.	Итого технологическая себестоимость сборки	665696,75 ( $C_1$ )	460378,1 ( $C_2$ )	+205318,65	
9.	Стоимость изменяющейся части площадей	Единовременные и капитальные затраты в основные и оборотные средства			
		( $K_1$ )	( $K_2$ )	$\pm\Delta C$	$\pm\Delta K$
		912000	225000		+687000
10.	Стоимость изменяющейся части оснастки	570000	506000		+64000
11.	Стоимость объема незавершенного производства	71064,67	195789		-124724,33
12.	Стоимость изменяющейся части площадей для хранения заделов незавершенного производства	43337,25	69423		-26085,75
	Итого	1596401,92	996212		600189,92

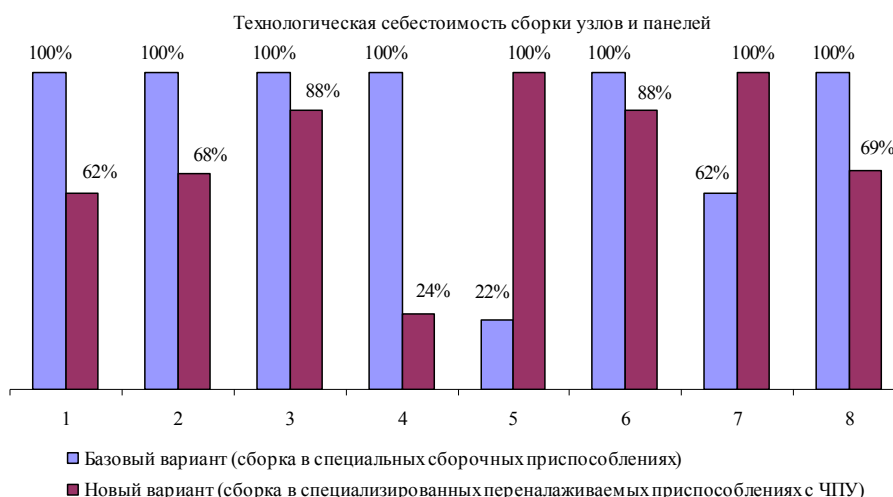


Рис. 1. Сравнение статей затрат технологической себестоимости сборки узлов, панелей  $C_{пр.} = C + K_{эф.} + K$ :  
 1 – технологическая себестоимость сборки ( $C$ ); 2 – стоимость изменяющейся части производственных площадей ( $P_{пл.}$ ); 3 – стоимость изменяющейся части оснастки ( $P_{осн.}$ ); 4 – стоимость изменяющейся части объема производства ( $H$ ); 5 – стоимость производственных площадей для хранения заделов незавершенного производства ( $E$ ); 6 – приведенные затраты ( $C_{пр.}$ )

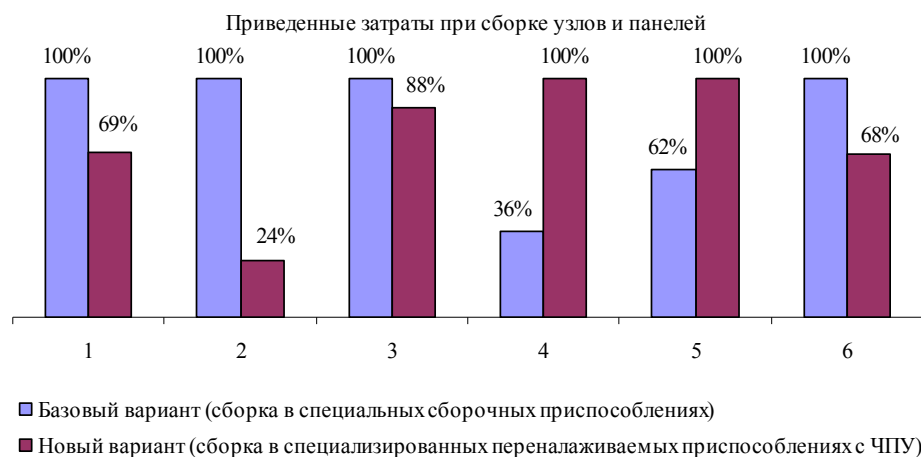


Рис. 2. Сравнение приведенных затрат при сборке узлов и панелей  $C = Z_1 + Z_2 + A_{\text{осн.}} + A_{\text{пл.}} + T + R + Z_3$  :

- 1 – заработная плата производственных рабочих ( $Z_1$ ); 2 – заработная плата цехового персонала ( $Z_2$ );  
 3 – расходы на амортизацию технологической оснастки ( $A_{\text{осн.}}$ ); 4 – расходы на амортизацию и содержание площадей ( $A_{\text{пл.}}$ ); 5 – транспортные расходы, расходы на транспортировку узлов, панелей ( $T$ );  
 6 – расходы на ремонт оснастки ( $R$ ); 7 – расходы на хранение заделов незавершенного производства ( $Z_3$ );  
 8 – технологическая себестоимость сборки ( $C$ )

## Заключение

1. Расчеты показывают, что при определенных условиях применение ГАК в сборочном производстве экономически целесообразно.

2. Следует отметить, что основная сложность обоснования применения ГАК в сборке заключается не в сфере расчетов экономической целесообразности, а в том, что ГАК является только частью гибких производственных систем (ГПС), объединяющих цеховые гибкие автоматизированные производства, САПР СЕ, технологических процессов, автоматизацию управления многогранной деятельностью предприятия. Для машиностроительных предприятий такие объединенные системы являются перспективной задачей на ближайшие годы.

## Литература

- Бойцов, В.В. *Механизация и автоматизация в мелкосерийном и серийном производстве [Текст]* / В.В. Бойцов. – М.: Машиностроение, 1994. – 416 с.
- Попов, Е.П. *Робототехника и гибкие производственные системы [Текст]* / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1997. – 192 с.
- Определение рациональной производственной структуры цехов агрегатно-сборочного самолетостроительного производства. *Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов [Текст]* / Л.Н. Корнилов, В.В. Воронько, Ю.А. Воробьев, К. Матцнер // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та*

им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» – Вып. 3(72). – Х., 2012. – С. 36-49.

4. *Разработка технологических материалов для проектирования цеха сборки панелей самолета ИЛ-18 на базе типизации и комплексной механизации элементов технологического процесса: отчет о НИИР [Текст]* / Куйбышевский филиал НИИТ; рук. Корнилов Л.Н. – Куйбышев, 1971. – №051-02.

5. *Механизация и автоматизация процессов производства в машиностроении [Текст]: сб. науч. трудов НИИТ. – 1981. – №142.*

6. *Руководящие технологические материалы [Текст]: сб. науч. трудов НИИТ. – 1981. – Инв. №1328.*

7. Уланов, М.Е. *Эффективность специализации агрегатно-сборочных цехов [Текст]* / М.Е. Уланов // *Авиационная промышленность. – 1972. – №10.*

8. *Разработка технической документации по созданию специализированных участков в сборочных цехах: отчет о НИИР [Текст]* / Укрфилиал НИИТ, рук. Корнилов Л.Н. – К., 1966. – Инв. №17051.

9. *Метод автоматизированной конвейерной сборки планера самолета [Текст]* / В.С. Кривцов, Ю.А. Воробьев, В.В. Воронько, В.Е. Зайцев // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. – Вып. 55. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «ХАИ», 2012. – С. 5 – 13.*

10. *Классификатор узлов, собираемых на специализированных участках по конструктивно-технологическим признакам: отчет о НИИР [Текст]* / Укрфилиал НИИТ, рук. Корнилов Л.Н. – К., 1966. – Инв. №17053.

Поступила в редакцию 19.05.2013, рассмотрена на редколлегии 29.05.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. Ф.В. Новиков, Харьковский национальный экономический университет, Харьков.

### ІНТЕНСИФІКАЦІЯ СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

*Л.М. Корнілов, В.В. Воронько, Ю.А. Воробйов, І.О. Воронько*

Стаття присвячена економічній оцінці використання гнучких виробничих комплексів для складання складальних одиниць літальних апаратів за допомогою спеціалізованих переналаджуваних пристосувань з числовим програмним управлінням. Пропонується розраховувати річний економічний ефект як різницю приведених витрат для базового і нового варіантів. Наведено конкретні результати економічних розрахунків для літаків середнього класу та середнього масштабу виробництва. Визначено умови, за яких використання гнучких виробничих комплексів економічно доцільно.

**Ключові слова:** складальна оснастка, гнучкі виробничі комплекси, технологічна собівартість, наведені витрати, економічна доцільність.

### INTENSIFICATION ASSEMBLY OF AIRCRAFT PRODUCTION

*L.M. Kornilov, V.V. Voronko, Yu.A. Vorobyov, I.O. Voronko*

The article is devoted to the economic evaluation of the use of flexible manufacturing systems for the assembly of subassemblies of aircraft using specialized, readjustable tools with numerical control. It is proposed to calculate the annual economic effect as the difference in reduced costs for the base and the new options. The concrete results of economic calculations for aircraft middle-class and middle-scale production. Defined conditions under which the use of flexible manufacturing systems economically feasible.

**Keywords:** assembly equipment, flexible manufacturing systems, process cost, reduced costs, the economic feasibility.

**Корнілов Лев Николаевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри економіки, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Воронько Виталий Владимирович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технології виробництва летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: vitaliy.voronko@gmail.com.

**Воробьев Юрий Анатольевич** – канд. техн. наук, профессор, профессор кафедри технології виробництва летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: yuriy.vorobyov@gmail.com.

**Воронько Ирина Алексеевна** – аспірант кафедри технології виробництва летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: irina-voronko@ukr.net.